УДК 66.023.2

УРАВНЕНИЕ АМАЛЬГАМНО-ОБМЕННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ УСРЕДНЁННЫХ ПОТОКОВ

И.А. Тихомиров, Д.Г. Видяев, А.А. Гринюк

Томский политехнический университет
E-mail: orlov@phtd.tpu.edu.ru

Получено уравнение амальгамно-обменной колонны для усреднённых потоков, которое позволяет рассчитать концентрацию целевого изотопа на выходе колонны (каскада колонн) или решить обратную задачу – определить необходимое число колонн для получения целевого изотопа заданной концентрации с требуемым отбором.

Разложение амальгамы при контакте с водой и водными растворами солей металлов играет в разделительном процессе двоякую роль. С одной стороны, если бы амальгама не разлагалась, невозможно было бы организовать обращение фаз (перевод разделяемого элемента из фазы амальгамы в раствор). С другой стороны, разложение амальгамы при движении ее по обменной колонне приводит к потере части потока, а поскольку в нем концентрируется целевой изотоп, то и к потере конечного продукта. Скорость процесса разложения зависит от концентрации амальгамы, ее температуры, интенсивности перемешивания обменивающихся фаз, наличия примесей [1]. Указанные факторы постоянно изменяются в процессе движения амальгамы по колонне, поэтому при выводе уравнения амальгамно-обменной колонны на наш взгляд целесообразно пользоваться усредненными потоками.

Уравнение колонны для амальгамно-обменных процессов изотопного разделения [1, 2] обычно даётся в виде:

$$\frac{dc}{dn} = \varepsilon c(1-c) - \frac{q_к(c_к - c)}{J}. \quad (1)$$

Здесь градиент изотопной концентрации по разделительным ступеням n запишется в форме dc/dn, а коэффициент обогащения $\varepsilon=\alpha-1$, где α – элементарный коэффициент разделения изотопов; c – текущая изотопная концентрация; $c_к$ – конечное значение изотопной концентрации (после обогащения); $q_к$ – величина потока отбора как разность фазовых потоков циркуляции (прямых и обратных) в колонне J–J'; J – величина прямого потока циркуляции.

Проведем усреднение потоков циркуляции вдоль по колонне:

$$\bar{J}_п = \frac{J_н + J_к}{2} = \text{const}, \quad (2)$$

где $J_н$, $J_к$ – начальный и конечный поток циркуляции.

С учётом разложения амальгамы конечный поток циркуляции $J_к$ найдётся как

$$J_К = J_Н - J_р \cdot L,$$

где L – длина колонны, а $J_р$ – поток разложения амальгамы по длине колонны.

Известно, что $J_р \cdot L = J_н \cdot R$, где доля разложения амальгамы на одной колонне будет $R = r \cdot N$. Здесь r – доля разложения амальгамы на одну ступень N.

Выражение (2) преобразуется теперь следующим образом:

$$\bar{J}_п = \frac{J_н + J_н - J_н R}{2} = J_н\left(1 - \frac{R}{2}\right) = J_н\left(1 - \frac{rN}{2}\right).$$

Уравнение колонны (1) после замены $J_п$ на $\bar{J}_п$ приводится к виду:

$$\frac{dc}{dn} = \varepsilon c(1-c) - \frac{q_к(c_к - c)}{\bar{J}_п} = $$
$$= \varepsilon c(1-c) - \frac{q_к(c_к - c)}{J_н\left(1 - \frac{rN}{2}\right)}. \quad (3)$$

Это и есть уравнение колонны с усреднёнными потоками циркуляции. После интегрирования по изотопной концентрации [3, 4] в пределах от участка c_1 до c_2, если c_1 известно, решением ур. (3) будет:

$$c_2(n) = \frac{x_2 + x_1 \frac{c_1 - x_2}{x_1 - c_1} e^{n\varepsilon(x_1 - x_2)}}{1 + \frac{c_1 - x_2}{x_1 - c_1} e^{n\varepsilon(x_1 - x_2)}}.$$

Здесь:

$$x_1 = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{q_к}{\bar{J}_п \varepsilon}\right) + \sqrt{\frac{1}{4}\left(1 + \frac{q_к}{\bar{J}_п \cdot \varepsilon}\right)^2 - \frac{q_к c_к}{\bar{J}_п \varepsilon}}; \; x_2 = \frac{1}{x_1} \cdot \frac{q_к c_к}{\bar{J}_п \varepsilon}.$$

Таким образом, получен вывод уравнения амальгамно-обменной колонны для усреднённых потоков, которое позволяет рассчитать концентрацию целевого изотопа на выходе колонны (каскада колонн) или решить обратную задачу – определить необходимое число колонн для получения целевого изотопа заданной концентрации с требуемым отбором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 436 с.
2. Андреев Б.М., Полевой А.С. Методы исследования процессов изотопного обмена. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1987. – 79 с.
3. Рыскин Г.Я., Пташник В.Б. Кинетика изотопного обмена в системе амальгама лития – водный раствор LiCl // Электрохимия. – 1980. – Т. 16. – № 1. – С. 108–111.
4. Князев Д.А., Цивадзе А.Ю., Клинский Г.Д., Левкин А.В. Кинетика изотопного обмена лития в амальгамных системах // Известия ТСХА. – 1988. – № 2. – С. 166–168.